

Disciplina de Ortodontia Preventiva

Profa. Dra. Maria Bernadete Sasso Stuani
Mestre e Doutora em Ortodontia – UFRJ
Pós Doutorado em Ortodontia- Aarhus University

PRINCÍPIOS DE BIOMECÂNICA EM ORTODONTIA – Parte 3

I. Introdução

O movimento dentário ortodôntico é o **resultado** da aplicação de força aos dentes. Estas forças são produzidas pelos aparelhos (fios, bráquetes, elásticos, etc) inseridos e ativados pelo profissional. Os dentes e suas estruturas de suporte respondem a estas forças com uma reação biológica complexa que em última instância, produz o movimento dentário através do osso. A fim de obter uma resposta biológica precisa, deve-se aplicar estímulos precisos, sejam mecânicos ou de outro tipo. A fim de minimizar ou eliminar os fatores desconhecidos vinculados com o tratamento ortodôntico pode-se reduzir a variabilidade da resposta ao tratamento. Para isso é necessário o conhecimento dos princípios biomecânicos que governam as forças para o controle do tratamento ortodôntico.

A base do tratamento ortodôntico consiste na aplicação clínica de conceitos biomecânicos. A mecânica é a disciplina que descreve o efeito das forças sobre os corpos. O termo **biomecânica se refere a ciência da mecânica em relação aos sistemas biológicos**. O tratamento ortodôntico aplica forças aos dentes, que são geradas por uma variedade de aparelhos ortodônticos.

Como pré-condição para a aplicação das forças em ortodontia, é necessário o conhecimento de vários conceitos fundamentais, usados na mecanoterapia. Assim este capítulo visa abordar alguns conceitos da biomecânica.

II. Conceito físicos básicos da biomecânica e suas aplicações em ortodontia

Um aparelho ortodôntico é eficiente se levar a um **resultado predictivo dentro de um curto tempo** de tratamento. A eficiência está baseada no conhecimento das reações biológicas ao estímulo mecânico e a compreensão das propriedades físicas descritas na mecânica. É necessário

compreender vários conceitos mecânicos fundamentais para compreender a aplicação clínica da biomecânica na ortodontia.

1. Conceito de mecânica

É o ramo da ciência (Física) que descreve o efeito de sistema de força sobre os corpos em repouso ou em movimento.

2. Referencial

Quando se deseja especificar o movimento de um corpo qualquer, é fundamental que se apresente a referência à relação a qual se realiza o mesmo. Assim o movimento de um dente é citado em relação a outro dente, ao rebordo gengival ao dente antagônico ou a sua posição inicial.

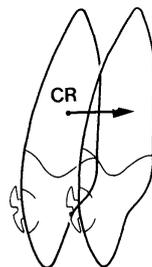


Figura 1: Superposição do movimento do incisivo central superior. O incisivo central superior foi distalizado 4mm em relação à sua posição inicial, quando submetido a uma força de distalização.

3. Grandeza (quantidade)

A noção de grandeza é primitiva, isto é, intuitiva, por esta razão, é difícil defini-la. Vamos contudo considerar como grandeza tudo aquilo que varia para mais ou para menos, ou seja, pode aumentar ou diminuir de valor. Podemos classificar as grandezas em 2 tipos: grandezas escalares e grandezas vetoriais.

3.1. grandeza escalar:

São aquelas que ficam perfeitamente determinadas por um número seguido de uma unidade de medida (escala). Ex: 20Kg; 2h; 100W; 5mL; 30cm. A adição das grandezas escalares se faz somando-se os números e em seguida colocando-se as unidades correspondente. Ex: $2g + 3g = 5g$

3.2. grandeza vetorial:

São aquelas que, além da intensidade (número) e da unidade empregadas (grandeza escalar), exigem linha de ação (direção e ponto de aplicação), e, também o sentido em que atuam. São representadas por **vetores**. Portanto **vetor** é um segmento de reta orientado que representa uma grandeza vetorial. É também conhecido como vetor da grandeza em estudo, por exemplo: vetor força, vetor do momento. Dentre as grandezas vetoriais usadas em Ortodontia, as mais comuns são a **Força** e o **Momento**.

As **forças** utilizadas para realizar a movimentação dentária é uma **grandeza vetorial**, portanto uma força é um vetor e ela se define pelas características dos vetores, descritas a seguir. As forças ortodônticas se obtém por vários meios: deflexão dos fios, ativação de molas, elásticos intra ou extra-bucais, etc. As quantidades correspondentes aos vetores se caracterizam por ter magnitude e direção.

3.3. Características de um vetor (Força)

Intensidade ou magnitude: é o número que indica quantas vezes a grandeza vetorial contém uma determinada unidade. Representa por seu tamanho.

Direção: é aquela determinada pelo ângulo que o vetor faz com uma dada referência (as paralelas ao vetor dado tem a mesma direção). A direção é descrita pela linha de ação.

Sentido: é o orientação que o vetor possui sobre a reta que determina sua direção. É indicado pela ponta da seta.

Ponto de aplicação: é o ponto do espaço onde a grandeza vetorial atua (ex: local onde o fio toca o dente ou braquete).

Linha de ação (suporte): é a reta que contém o vetor, isto é, engloba o ponto de aplicação e a direção do vetor dado.

4. FORÇA

Costuma-se definir força pelos efeitos que ela produz. **Força é toda causa (agente) capaz de provocar uma modificação na forma ou no movimento de um corpo.** A força é uma **grandeza vetorial**. É a carga aplicada a um objeto que tenderá move-lo a uma posição diferente no espaço. Usaremos a expressão força simples para diferenciar de um binário (duas forças iguais e opostas). Se ela for aplicada no centro de resistência do dente, teremos uma translação (movimento de corpo). Se ela for aplicada em um ponto qualquer, diferente do centro de resistência (evidentemente deve ser na coroa) teremos uma inclinação em torno do Crot (determinado pelas partes do dente que não se movem).

Para todos os propósitos clínico, o dente pode ser considerado como um corpo rígido, cuja definição implica que eles não mudam de forma sob a ação de forças. Corpo rígido tem massa e peso. Estes 2 termos são freqüentemente confundidos. **Massa** é a medida da quantidade de matéria e é independente de onde o corpo se encontra, por exemplo na lua terra ou espaço. O **peso** é influenciado pela localização do corpo, uma vez que o peso é a força exercida nele pela ação da gravidade local.

É a aplicação de uma força que dá como resultado o movimento ortodôntico dos dentes. Uma força é igual a massa multiplicada pela aceleração da gravidade (**$F = m \times a$**). Suas unidades são o Newton ou grama x milímetros/segundos². Em ortodontia clínica, os Newtons são representados geralmente medida em unidade de peso (gramas ou onças), porque a **contribuição da aceleração (m/s^2) é irrelevante sob o aspecto clínico.**

Unidade de medida força

$$1\text{Kgf (quilograma-força)} = 1\text{Kg} = 9,8\text{N}$$

$$1\text{gf (grama força)} = 1\text{g}^*$$

$$1\text{lbf} = 15,80 \text{ onças}$$

$$1 \text{ onça (oz)} = 28,35\text{g}$$

$$1\text{newton} = 101\text{gf}$$

Grama-força é o peso de uma massa de 1 grama (g^*)

Libra-força (lb^{**} ou lbf) é o peso de uma massa igual a 451g (lb)

4.1. Características de uma força:

A **força** é um **vetor**, assim ela assume as propriedades dos vetores. Ela possui **intensidade, direção, sentido e ponto de aplicação**. A **linha de ação** ou força direcional é geralmente representada por uma flecha apontando a direção na qual a força atua.

4.2. Exemplos de tipos de forças ortodônticas:

Força contínua:

Mantida em um nível razoavelmente constante de uma sessão para outra

Força intermitente:

Diminui para zero quando o aparelho é removido e readquire o valor inicial quando o aparelho é recolocado. Este tipo de força normalmente é produzida por aparelhos ortodônticos removíveis, forças extra-orais e elásticos intra-orais.

Força Interrompida:

Diminui até zero entre as ativações

4.3. Propriedades de uma força simples:

Uma força simples não é anulada no sentido horizontal, logo:

- uma força simples depende do ponto de sua aplicação, pois gera momento (momento de força);
- uma força simples aplicada no CR, resulta em um movimento de translação;
- uma força simples aplicada fora CR, resulta em um movimento de rotação (inclinação não controlada);
- uma força simples provoca deslocamento do CR;
- uma força simples só pode ser equilibrada por outra uma força simples;
- o momento da força é extrínseco ao arco (depende do ponto de aplicação da força e não da deformação no arco).

5. Centro de gravidade ou centro massa (corpos livres de interação):

Chama-se **centro de gravidade de um corpo** ao ponto onde está aplicada a força de peso do corpo, ou seja, é o ponto pelo qual passa a linha de ação de seu peso. Deve-se levar em conta que as ações atrativas da terra se fazem sobre cada partícula constituinte do corpo. O peso é a resultante deste conjunto de forças e é, pois, necessário descrever o ponto de aplicação da resultante deste sistema de forças para poder substituir o conjunto destas forças, por uma força que sozinha tenha o mesmo efeito. Este ponto é o centro de gravidade do corpo. Em alguns casos, pode ocorrer que o centro de gravidade de um corpo se encontre fora do espaço ocupado por ele (caso de um bráquete soldado em um anel ortodôntico).

5.1. Centro de massa de um corpo rígido:

É o ponto no qual aplicada a força faz com que o mesmo se desloque em translação. É de praxe, no entanto, identificar o centro de gravidade de um corpo rígido com o centro de massa do mesmo, uma vez que, o erro assim cometido é totalmente desprezível, na imensa maioria dos casos práticos. Conseqüentemente, supõe-se serem coincidentes os centros de gravidade e de massa de um mesmo corpo. Pode-se verificar experimentalmente que se um corpo rígido admitir um centro de simetria, o seu centro de massa coincidirá com este ponto.

5.2. Centro de resistência (CR):

Todos os objetos tem um centro de massa. Este é o ponto através do qual a força aplicada deve passar para **mover um objeto livre em forma linear, sem rotação**. Em outras palavras, o centro de resistência (CR) é o ponto de equilíbrio de um objeto.

Em ortodontia define-se centro de resistência como **o ponto através do qual a força aplicada a este ponto, produza um movimento paralelo em todos os pontos do dente, ou seja, um movimento de translação (movimento de corpo)**. Os dentes isolados, as unidades dentárias, os arcos dentais completos e os maxilares tem cada um seu próprio centro de resistência.

Para um objeto livre no espaço, o centro de resistência é o mesmo do centro de massa. Porém deve-se lembrar que, dentro de seu sistema periodontal de inserção, o dente **não** pode ser considerado um corpo livre, pois está restrito pelo periodonto. Neste caso, como a raiz dentária está embebida pelo osso alveolar, **o centro de resistência será determinado pela natureza do ambiente externo**.

A localização exata do centro de resistência de um dente não é identificada com facilidade. Matematicamente calculado, a posição do centro de resistência de um incisivo de forma parabólica pode ser estimado estar localizado a 33% da distância da crista alveolar marginal em direção ao ápice (**1/3 da distância desde a união amelo-cementária até o ápice radicular**).

Para um dente multirradicular, como é o caso dos molares, o centro de resistência encontra-se fora do mesmo, aproximadamente **1mm apicalmente à bifurcação das raízes** dos molares.

O CR é estimado:

Incisivos Superiores: 1/3 ou 40% da distância do osso marginal ao ápice

Canino Superior: 12 a 15mm do bráquete

Pré molares e molares: 8 a 10 mm do bráquete (furca)

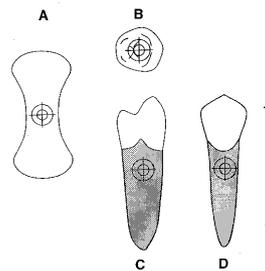


Figura 3: Centro de resistência: **A** – Centro de massa de um corpo livre. **B**, **C** e **D** – Centro de resistência de um dente. **B** vista frontal, **C** vista oclusal e **D** vista mesial.

Se pudéssemos aplicar uma força sobre o **centro de resistência de um dente**, ele se moveria em linha reta sem tendência à rotação. Porém, como pode-se ver na figura abaixo (Figura 4), não é possível que a força seja exercida exatamente no centro de resistência, pois ele encontra-se na **raiz do dente** e recoberto de osso alveolar.

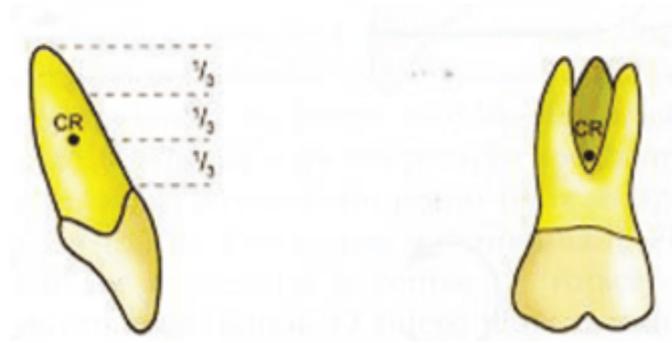


Figura 4 – Centro de resistência (CR) dentário

5.3. O centro de resistência e o periodonto de inserção:

O conceito de centro de resistência em ortodontia envolve a interação do dente com o periodonto (osso e gengiva) que o circunda. **O centro de resistência de um dente depende do tamanho e da morfologia radicular, da quantidade de raízes e do nível de suporte por parte do osso alveolar.** A influência da extensão das raízes e o nível da margem óssea é importante no planejamento de um sistema de força correto. A posição exata está em função da morfologia dentária, do ligamento periodontal, do nível e qualidade do osso vizinho. Portanto o CR é um ponto do dente que não depende do sistema de forças ou momentos que sobre ele atua, porém depende das estruturas que o envolvem (nível do osso, gengiva).

X = parte da raiz dentária recoberta por tecido ósseo.

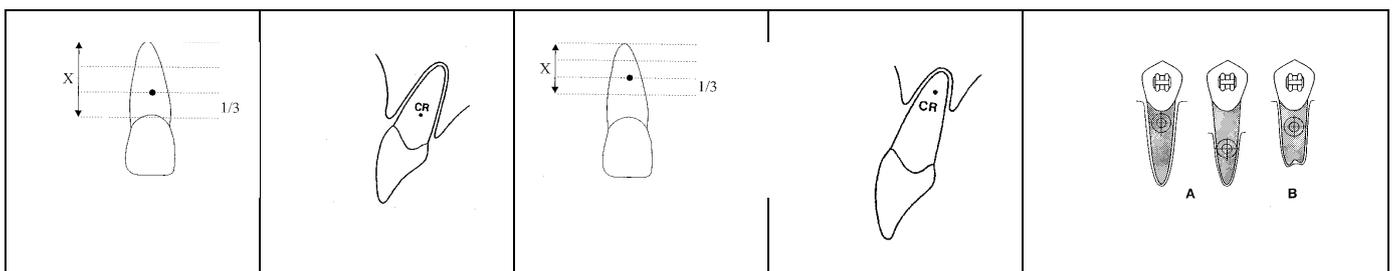


Figura 5: A localização do CR depende da altura do osso alveolar e do tamanho da raiz. **A** – Localização do CR com margem óssea com altura normal (a) com perda óssea. **B** – Localização do CR com diminuição do tamanho da altura do processo alveolar. **C** – Localização do CR com diminuição do tamanho da raiz.

4. Centro de rotação (CRot):

O Crot de um movimento dentário é **um ponto em torno do qual se verificam movimentos de rotação de um dente, quando começa a se mover**, dependendo do sistema de forças a ele aplicado. Ele surge quando uma força é aplicada **fora do CR** do dente. A aplicação de uma força à coroa do dente resulta em maior movimento da raiz do que da coroa.

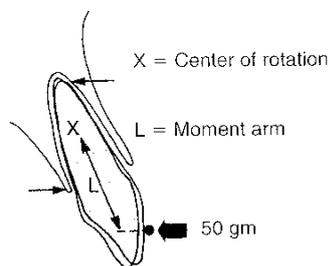


Figura 6: O centro de resistência de um dente é aproximadamente o ponto médio da porção radicular embebida no osso. Se uma força simples é aplicada a coroa do dente, o dente irá rotacionar ao redor do CRot (se o centro de rotação não coincidir com o centro de resistência), porque um momento é criado pela aplicação da força longe do CR. A distância perpendicular do ponto de aplicação da força ao centro de resistência é o braço do momento. A pressão no ligamento periodontal será maior na crista alveolar e no ápice radicular do lado oposto.

O centro de rotação e o “momento”

Então, como não é possível exercer uma força diretamente sobre o **centro de resistência de um dente**, a força geralmente é exercida na **coroa dentária**, e uma tendência de rotação é criada neste dente, também conhecida como **momento** (Figura 7). **Momento** é aquele em que os pontos do corpo descrevem uma circunferência (ou arco de circunferência) em relação ao eixo. Podemos ter **Momento positivo (M+)** sentido horário ou **Momento negativo (M-)** sentido anti-horário.

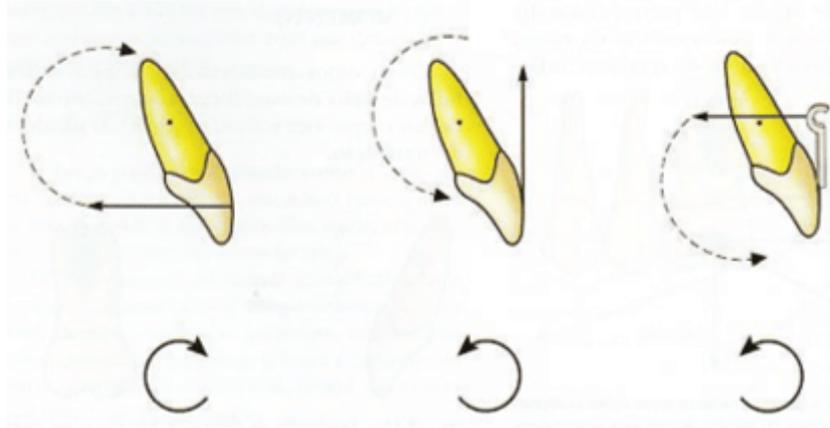
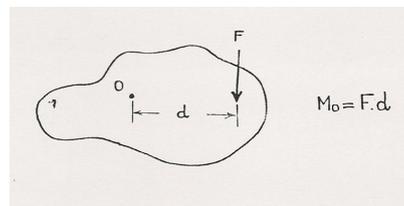


Figura 7: Tendências de giro, com a variação da direção e local de aplicação da força ortodôntica

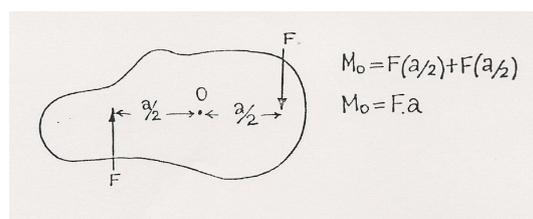
5. Momento:

Um momento é uma medida de tendência de movimento de rotação. Há duas maneiras de gerar momento:

a) momento de uma força: este momento é gerado por ação d força de um braço de alavanca. O momento é igual a força vezes o comprimento do braço de alavanca.



b) momento de um binário: um binário também produz tendência rotacional. Um **binário** consiste de duas forças paralelas com igual magnitude, opostas em sentido e não na mesma direção. O momento gerado é igual a força vezes a distância entre duas forças.



Uma vez que nós estamos limitados a aplicar o sistema de forças na vestibular do bráquetes, sempre estaremos produzindo um **Momento**. Sabendo que força aplicada para o movimento dentário deve passar pelo CR, é possível determinar o sistema de força equivalente que deve ser colocado no acessório do dente. Por exemplo se um movimento de translação é desejado, a linha de ação de força deve passar através do CR. O mesmo efeito pode ser obtido se a mesma força é aplicada no acessório e o momento criado pela força com relação ao CR 'é neutralizado adicionando um momento ao acessório, com o uso de "power arms".



Figura 8: O uso de "power arm" no arco superior para que a força passe pelo centro de resistência dos dentes:

6. A importância do bráquete na Ortodontia

Os bráquetes têm uma grande importância, quando se fala das **forças em Ortodontia**. Pois é exatamente por meio deste acessório, colado na coroa dentária, que o dente pode ser movimentado de forma controlada. Geralmente, os fios ortodônticos passam próximos deste acessório que estão bem presos aos dentes. Assim, a força pode ser transmitida ao dente e o movimento pode ocorrer (Figura 8).

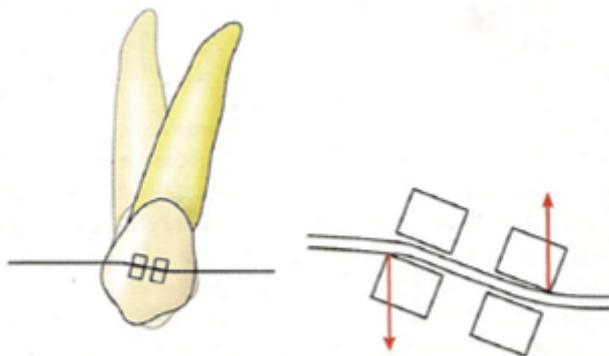


Figura 8: Fio ortodôntico inserido dentro dos slots de um bráquete

Resumidamente, pode-se entender a **força ortodôntica** a partir do conceito da física, de que é a energia necessária para que alterações de forma ou movimentos sejam criados em corpos. Ela é resultado da ação de um corpo sobre o outro. No caso da Ortodontia: um fio/arco, um elástico, entre outros acessórios, atuam sobre o dente.

Referencias bibliográficas:

- Baldini, G., Luder, H.U. Influence of arch shape on transverse effects of transpalatal arches of the Gosgrian type during application of buccal root torque, Am. J. Orthod. 1982;81:202-208.
- Biggerstaff R, Tuncay O. A dynamic evaluation of human occlusion. Am J Orthod 1976;70:316-324.
- Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. Am J Phys Anthropol 1968;29:243-254
- Björk A. The use of metallic implants in the study of facial growth in children: method and application. Am J Phys Anthropol 1968;29:243-254
- Brader AC. Dental arch form related with intraoral forces. PR = C. Am J Orthod 1972; 61: 541-561.
- Burstone CJ, Koenig HA. Force systems from an ideal arch. Am J Orthod 1974;65:270-289.
- Burstone CJ, Koenig HA. Force systems from an ideal arch. Am J Orthod 1974;65:270-289.
- Burstone CJ. Dr. C.J. Burstone on the uses of the computer in orthodontic practice. J Clin Orthod 1979;13:442-453.
- Burstone CJ. Dr. C.J. Burstone on the uses of the computer in orthodontic practice. J Clin Orthod 1979;13:442-453.
- Burstone CJ. The rationale of segmented arch. Am J Orthod 1962;48:805-821.
- Burstone CJ. The rationale of segmented arch. Am J Orthod 1962;48:805-821.
- Burstone, C.J. – Orthodontic Force Control. J. Clin. Orthod., v.1, n.4, 1981.
- Burstone, C.J. Force system from an ideal arch, Am. J. Orthod. 1974;65:270-289.
- Burstone, C.J. Mechanics of segmented arch technique, Angle Orthod. 1966;36:99-120.
- Burstone, C.J. Precision adjustment of the transpalatal lingual arch, Am. J. Orthod. 1981;79:115-133.
- Burstone, C.J. Precision Lingual Arches – Active applications, J. of Clin. Orthod. 1989;33:100-109.
- Burstone, C.J. Precision Lingual Arches – Passive Applications. J. of Clin. Orthod. 1988;27:444-451.
- Burstone, C.J. Variable-modulus orthodontics, Am. J. Orthod. 1981;80:1-16.
- Dermaut LR, Van den Bulcke M. Evaluation of intrusion Mechanics of the type “segmented arch” on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry 1986;89:251.263.
- Dermaut LR, Van den Bulcke M. Evaluation of intrusion Mechanics of the type “segmented arch” on a macerated human skull using the laser reflection technique and holographic interferometry 1986;89:251.263.
- ESMSA Chemicald inc., P.O. Box 162, Higjland Park, I11. 60035. Manuale d’uso di Big Jane, Bracket reconditioner-polisher E3762
- Fiorelli, G., Calandriello, B., Bologini, E., Morazzini, P.: Uso della barra transpalatale e dell’arco linguale. Attualità Dentale. 1990;7:32-39
- Fiorelli, G.; Melsen, B. – Biomechanics in Orthodontics. Italy, Libra Ortodonzia, 1996, CD-rom
- Hocevar RA. Understanding, planning, and managing tooth movement: orthodontic force system theory. Am J Orthod 1981;80:457-477.

- Hocevar RA. Understanding, planning, and managing tooth movement: orthodontic force system theory. *Am J Orthod* 1981;80:457-477.
- Jaraback, J.R.; Fizzel, J.A. – Technique and treatment with the light-wire edgewise appliance. CV Mosby, St Louis, 1972.
- Koenig, H.A., Burstone C.J.: Analysis of generalised curved beams for orthodontics application, *J. Biomechanics*. 1974;7:429-435
- Kusy, R.P., Greenberg, A.R.: Effects of composition and cross section on the elastic properties of orthodontics wires, *Angle Orthod*. 1981;51:325-341.
- Lear CSC. Symmetry analyses of the palate and maxillary dental arch. *Angle Orthod* 1968; 38: 56-62.
- Marcotte MR. Occlusogram in treatment planning. *Am J Orthod* 1976;69:655-667.
- Marcotte MR. Occlusogram in treatment planning. *Am J Orthod* 1976;69:655-667.
- Marcotte MR. The use of the occlusograms in planning orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1976; 69: 655-667.
- Marcotte, M.R. – Biomecânica em ortodontia. São Paulo: Livraria Santos ed., 1993.
- Melsen B. Treatment problems in adult patients. Study week. Knokke, Belgium 1980:219-236.
- Melsen B. Treatment problems in adult patients. Study week. Knokke, Belgium 1980:219-236.
- Mulligan TF. Common sense mechanics 2. Forces and moments. *J. Clin Orthod* 1979;13:676-683.
- Mulligan TF. Common sense mechanics 2. Forces and moments. *J. Clin Orthod* 1979;13:676-683.
- Nanda, R. – Biomechanics in clinical orthodontics. WB Saunders, 1977.
- Nicolai RJ. Analytical mechanics and analysis of orthodontic tooth movements. *Am J Orthod* 1982;82:164-166.
- Nicolai RJ. Analytical mechanics and analysis of orthodontic tooth movements. *Am J Orthod* 1982;82:164-166.
- Nicolai, R.J. – Bioengineering analysis of orthodontic mechanics. Philadelphia: Lea & Febigre, 1985.
- Proffit, W.R.; Fields, H.W. – Ortodontia Contemporanea. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1995.
- Ronay F et al. Force systems developed by V bends in an elastic orthodontic wire. *Am J. Orthod Dentofac Orthop* 1989;96:295-301.
- Ronay F et al. Force systems developed by V bends in an elastic orthodontic wire. *Am J. Orthod Dentofac Orthop* 1989;96:295-301.
- Sadowsky, P.L. – Atualidades em ortodontia. São Paulo, ed. Premier, 1997.
- Slavicek R. Rudolf Slavicek on clinical and instrumental functional analysis for diagnosis and treatment planning. Part 1 and 6. *J Clin Orthod* 1988;22:358-718.
- Slavicek R. Rudolf Slavicek on clinical and instrumental functional analysis for diagnosis and treatment planning. Part 1 and 6. *J Clin Orthod* 1988;22:358-718.
- Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod* 1984;85:294-307
- Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod* 1984;85:294-307
- Thurrow, R.C. – Engineering in Dentofacial orthopedics in edgewise orthodontics, St Louis, CV Mosby, 1982.
- Van den Bulcke M et al. The center of resistance of anterior teeth during intrusion, using laser technique and holographic interferometry. *Am J Orthod* 1986;90:211-220
- Van den Bulcke M et al. The center of resistance of anterior teeth during intrusion, using laser technique and holographic interferometry. *Am J Orthod* 1986;90:211-220.
- Vanderby RJ et al. Experimentally determined force systems from vertically activated orthodontic loops. *Angle Orthod* 1977;47:272-279.
- Vanderby RJ et al. Experimentally determined force systems from vertically activated orthodontic loops. *Angle Orthod* 1977;47:272-279.
- Vellini F. Ortodontia – Diagnóstico e Planejamento Clínico
- White LW. Accurate arch-discrepancy measurements. *Am J Orthod* 1977; 72: 303-308.

Williams S, Melsen B. The interplay between sagittal and vertical growth factors. *Am J Orthod* 1982;81:327-332.

Williams S, Melsen B. The interplay between sagittal and vertical growth factors. *Am J Orthod* 1982;81:327-332.

Yosikawa DK. Biomechanical principles of orthodontic. *Dent Clin North Am* 1981;25:19-26.

Yosikawa DK. Biomechanical principles of orthodontic. *Dent Clin North Am* 1981;25:19-26.